

Der Fixationsverlust des Extremitätengipsverbandes  
durch Weichteilatrophie

Ein Versuch zur Lösung dieses Problems

Friedrich Cleve

1975





Digitized by the Internet Archive  
in 2026

[https://archive.org/details/IA41551923\\_0100](https://archive.org/details/IA41551923_0100)



Aus der Chirurgischen Klinik der Universität München  
Direktor: Prof. Dr. G. Heberer

Der Fixationsverlust des Extremitätengipsverbandes  
durch Weichteilatrophy  
Ein Versuch zur Lösung dieses Problems

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnmedizin  
verfaßt und  
einer Hohen Medizinischen Fakultät  
der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Friedrich Cleve

aus Kevelaer

München 1975

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät  
der Universität München

|              |                           |
|--------------|---------------------------|
| Dekan:       | Prof. Dr. W. Spann        |
| Referent:    | Priv.-Doz. Dr. K. Wilhelm |
| Correferent: | Prof. Dr. G. Heberer      |

Tag der mündl. Prüfung: 29.4.1975



In Dankbarkeit  
meinen Eltern gewidmet



## Inhaltsverzeichnis

|                                                                                                   | Seite |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| 1. Einleitung                                                                                     | 1     |
| 1.1. Die konservative Frakturbehandlungsmethode                                                   |       |
| 1.2. Nachteil der konservativen Methode                                                           | 2     |
| 2. Theoretische Überlegungen und Ziel der Untersuchungen                                          | 3     |
| 3. Das Material: Polyurethan                                                                      | 4     |
| 4. Methode                                                                                        | 8     |
| 4.1. Kunststoffprüfungen                                                                          |       |
| 4.2. Hautschutzmaterial                                                                           | 12    |
| 4.2.1. Hautschutzmaterialprüfungen                                                                | 13    |
| 4.3. Versuchsmodell                                                                               | 15    |
| 4.4. Methode und Erprobung der Hohlraumausfüllung in vivo                                         | 20    |
| 5. Experimentelle Ergebnisse zu 4.1.; 4.2.1.; 4.3.; 4.4.                                          | 21    |
| 6. Diskussion                                                                                     | 32    |
| 6.1. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit                                                       |       |
| 6.2. Die bisherigen Methoden und Versuche und die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Methode | 35    |
| 7. Zusammenfassung                                                                                | 37    |
| 8. Literaturverzeichnis                                                                           | 39    |



## 1. Einleitung

### 1.1. Die konservative Frakturbehandlungsmethode

Das Ziel jeder Knochenbruchbehandlung ist eine möglichst anatomisch und physiologisch genaue Reposition der Frakturfragmente und eine möglichst vollkommene Wiederherstellung des verletzten Körperteils. Die von BÖHLER (1930) geforderte Ruhigstellung der reponierten Fraktur bis zur knöchernen Verheilung läßt sich erreichen durch

- a) konservative Methoden (externe Fixierung: Schiene, zirkulärer Gipsverband)
- b) und operative Maßnahmen (interne Fixierung: intramedulläre Schienung, Platten, Schrauben, Drähte und Kombination der vorgenannten).

Trotz der Zunahme der operativen Behandlungsmethoden, die die Arbeitsgemeinschaft für Osteosynthesefragen entwickelte, wird auch heute noch die Mehrzahl aller Frakturen, Bandläsionen und Bandrupturen durch konservative Maßnahmen zur Ruhigstellung des verletzten Körperteils behandelt.

Schon von der arabisch-medizinischen Schule des Mittelalters gibt es Hinweise auf die Anwendung des Gipsverbandes in der Heilkunde. Zu seiner Bedeutung in der Unfallheilkunde gelangte der Gipsverband jedoch erst in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts durch den holländischen Militärarzt MATHYSEN (1852). Trotz anfänglicher Schwierigkeiten und ablehnender Haltung gegenüber seiner Anwendung hat der Gipsverband seinen festen Platz in der Frakturbehandlung eingenommen. Durch ihn wurden die Forderungen von MATHYSEN (1852) nach einer besseren Frakturbehandlung ebenso erfüllt wie die Grundsätze der Knochenbruchbehandlung von BÖHLER (1930). Auf Grund der guten Erfahrungen, die mit dem Gips gemacht wurden,

und durch die Verfeinerung der Behandlungstechnik kommt ihm seine führende Stellung zu (ZETKIN 1955, VALENTIN 1956).

## 4.2. Nachteil der konservativen Methode

Dieses wenig komplizierte und sichere Verfahren zur Frakturbehandlung enthält jedoch systembedingte Nachteile.

Für das Ziel einer guten und sicheren Frakturbehandlung ist die absolute Ruhigstellung der verletzten Extremität notwendig. Das Fehlen jeglicher Beweglichkeit bedingt aber einen methodeabhängigen Muskelschwund. "Zu der Atrophie, die während der Ruhigstellung im Gipsverband auftritt, kommt neben der Inaktivität auch eine entzündliche Komponente hinzu, da die Ursache der Ruhigstellung eine Verletzung oder eine Entzündung dieser Extremität ist. Diese entzündliche Komponente bewirkt eine wesentlich stärkere Muskelatrophie." (DIEBOLD 1966)

Durch die Inaktivitätsatrophie (SCHAEFER 1933 bezeichnet sie als Inaktivitätshypotrophie), durch das Schwinden des konsekutiven Weichteilhämatoms und durch das Beifallen des zirkulationsbedingten Ödems wird ein Stabilisierungsverlust des Gipsverbandes hervorgerufen. Dadurch ist die zur Frakturheilung notwendige Retention nicht mehr gewährleistet. Auf Grund dessen kann es zu folgenden Komplikationen kommen:

- a) verzögerter Heilungsverlauf
- b) Konsolidierung in funktionell ungünstiger Stellung
- c) Pseudarthrosenbildung

Die Weichteilatrophy und der durch Hohlraumbildung hervorgerufene Fixationsverlust des Gipsverbandes bedingen in der konservativen Frakturbehandlungsmethode eine Problemstellung, zu deren Lösung MAGNUS (1937), COMPERE (1966) und andere den Wechsel des Gipsverbandes angeben. Dieser Wechsel fällt jedoch oft in den Zeitraum, in dem sich die Fraktur gerade zu konsolidieren beginnt. Selbst bei äußerst behutsamem Vorgehen kann der Gipswechsel eine übermäßige Irritation des Frakturbereiches mit gestörter Heilungstendenz zur Folge haben.

## 2. Theoretische Überlegungen und Ziel der Untersuchungen

Aus diesen Gründen liegt der Schluß nahe, den Gipsverband zu belassen und den durch die Weichteilatrophy entstandenen Hohlraum zu beseitigen, um die erforderliche Stabilität des Gipsverbandes wiederherzustellen. Der einleitende Gedanke war die Hohlraumbeseitigung durch Unterfütterung des Gipsverbandes, d.h. die Ausfüllung des Hohlraumes.

Bevor das Problem der Hohlraumausfüllung in Angriff genommen werden konnte, mußte die Frage nach der grundsätzlichen Verfahrensweise und nach dem zu verwendenden Material geklärt werden. Da sich der Extremitätengipsverband über das proximale und distale Gelenk im Hinblick auf die Frakturstelle erstreckt und der Gips an den Knochenpunkten auch nach Wochen noch recht eng anliegt, ist es nicht praktikabel, den Hohlraum vom einen oder anderen Ende des Verbandes aus aufzufüllen. Somit bleibt die Eröffnung des Gipsverbandes über der Stelle des größten Weichteilschwundes. Durch diese Öffnung soll das Material, das den Hohlraum ausfüllen soll, appliziert werden. Die Frage nach der Größe des Hohlraums,

bzw. der Menge des im Individualfall einzufüllenden Materials muß einer anderen Arbeit vorbehalten bleiben.

Bei der Überlegung, mit welchem Material der Hohlraum auszufüllen sei, liegt der Gedanke an Gips in gießbarem Zustand nahe. Damit ist jedoch keine gleichmäßige Ausfüllung möglich, da gießbarer Gips, der Schwerkraft folgend, immer zu den am tiefsten gelegenen Stellen unter dem Verband fließen wird. Darüberhinaus verbindet sich der später eingefüllte Gips nicht vollständig mit dem ausgehärteten Gipsverband. Folglich muß ein Material gewählt werden, das sich unter dem Gipsverband in alle Richtungen ausbreiten kann und eine stabile Verbindung mit dem Gips eingeht. Dazu bot sich ein industriell bewährter Kunststoff - Polyurethanschaumstoff - an, der seit langem auch zur Hohlraum ausschäumung verwendet wird. So soll die vorliegende Arbeit klären, ob der durch Atrophie entstandene Hohlraum unter dem Gipsverband mit Hilfe von Polyurethanschaumstoff ausgefüllt werden kann und hiermit wieder eine ausreichende Retention der Frakturfragmente zu erreichen ist.

### 3. Das Material: Polyurethan

Als Unterfütterungsmaterial wurde ein Polyurethanschaumstoff der sog. H-Serie zur Anwendung gebracht. Diesen stellte die Firma Kunststoffbüro München (KBM), Geiselbullach, zur Verfügung.

Zur Herstellung von Polyurethanen werden als Grundkomponenten niedrigviskose Gemische aus Polyolen (Polyesterole und Polyätherole) und niedrigviskose aromatische Polyisocyanate, mit Trichlorfluormethan und Wasser als Treibmittel, benötigt. Die Polyole werden als Grundkomponente (A), die Polyisocyanate als Vernetzerkomponente (B) bezeichnet.

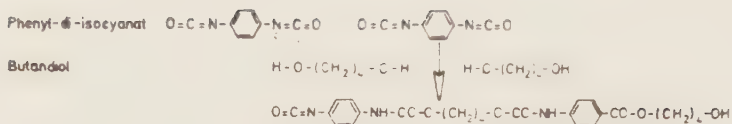


Abb. 1: Beispiel einer Reaktion von Isocyanat mit einem Alkohol zu Polyurethan

Zur Schaumstoffherstellung werden die beiden Komponenten A und B in einem bestimmten, meist geradzahligen (hier: A:B = 2:1) Gewichtsverhältnis gemischt. Mit dem Zusammenrühren der beiden Komponenten entsteht ein reaktionsfähiges Gemisch. Unter dem Einfluß der freiwerdenden Reaktionswärme verdampft das Treibmittel und bringt

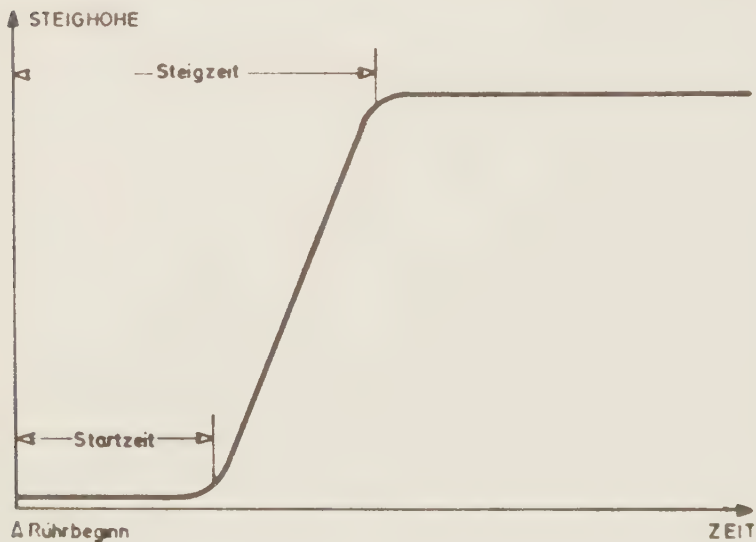


Abb. 2: Schematische Darstellung von Start- und Steigzeit

den Kunststoff zum Aufschäumen. Innerhalb von Sekunden bis Minuten - je nach Katalyse - hat der inzwischen hochviskose Schaum seine Expansion beendet, die Verfestigung beginnt und ist kurze Zeit später abgeschlossen. Das Raumgewicht (RG) des ausgehärteten Schaumes wird in  $\text{kg/m}^3$  angegeben. Man unterscheidet RG-freigeschäumt und RG-formgeschäumt. Der Wert für RG-freigeschäumt ist systemspezifisch und stellt das geringste erreichbare Raumgewicht dar. Das entsprechende RG-formgeschäumt liegt in Folge der durch äußeren Widerstand bewirkten Verdichtung naturgemäß in jedem Fall höher. Durch die Veränderung des Raumgewichtes können gewünschte Druck-, Zug- und Biegefestigkeiten eingestellt werden, d.h. diese Eigenschaften stehen in direkter Relation zum Raumgewicht des Schaumstoffes.

#### Physikalische Eigenschaften:

Die mechanischen und physikalischen Werte der Schaumstoffe sind primär abhängig von ihrem Raumgewicht. Die Firma KBM gibt für die von ihr zusammengestellte und hier verwendete Komponentenmischung ein RG-freigeschäumt von  $50 \text{ kg/m}^3$  an. Für die Temperatur während der Ausschäumphase (Steigzeit) wird ein Wert von ca.  $50^\circ \text{C}$  angegeben, für die Wärmeleitfähigkeit  $0,018 - 0,022 \text{ Kcal/m} \times \text{h} \times ^\circ\text{C}$ . Die Biegefestigkeit beträgt bei diesem Schaumstoff bis zu  $10 \text{ kp/cm}^2$ , die Druckfestigkeit bis zu  $6 \text{ kp/cm}^2$ ; der thermische Ausdehnungskoeffizient des Polyurethangerüstes beträgt ca.  $5 \times 10^{-5} \text{ m/m} \times ^\circ\text{C}$ . Das Strukturgefüge ist sehr feinporig und geschlossen-zellig. Dementsprechend nimmt der Schaumstoff sehr wenig Wasser auf. Der Wert für die Wasseraufnahme beträgt  $0,5 - 2,0 \text{ Vol.}\%$ .

### Chemische Eigenschaften:

Nach Abschluß der Polymerisation liegt eine ziemlich homogene Substanz vor, sofern das Mischungsverhältnis von 2:1 exakt eingehalten wurde. Trotzdem ist es möglich, daß sich noch geringste Mengen von nichtvernetzten Polyolen in der Substanz befinden. Organische Lösungsmittel wirken quellend und festigkeitsmindernd; sehr geringe Quellwirkung haben unpolare Kohlenwasserstoffe wie Leichtbenzin und Dieselkraftstoff, wenig quellend wirken auch Alkohole und Glykole. Beständig zeigt sich der Schaumstoff gegen verdünnte Laugen und Säuren sowie Wasser.

### Physiologisches Verhalten:

Die chemischen Eigenschaften des aromatischen Isocyanates lassen eine toxische Wirkung auf das Gewebe vermuten. Tatsächlich beschrieben MÜLLER (1963), BUCHNER (1962) die Toxizität des Polyurethanschaumstoffes "Ostamer", der als sog. Knochenkleber (SALVATORE, MANDARINO 1959) die Erwartungen und Anforderungen nicht erfüllen konnte.

Der hier verwendete Polyurethanschaumstoff der H-Serie der Firma KBM wurde bisher noch nicht für medizinische Zwecke in Anwendung gebracht, mit Ausnahme von Fertigprodukten in Form von orthopädischen Prothesen. Aus diesem Grunde liegen keine wissenschaftlichen Ergebnisse über das physiologische Verhalten dieses Polyurethanschaumstoffes vor.

Die in der Grundkomponente (B) enthaltenen Isocyanate auf der Basis von Diphenylmethandiisocyanat haben einen sehr niedrigen Dampfdruck ( $1 \times 10^{-5}$  mm Hg). Nach Angaben des Herstellers ist es angebracht, daß Personen, die zur Erkrankung der Atemwege neigen, nicht allzu lange in Kontakt mit dieser Grundkomponente kommen. Bislang wurden jedoch bei Menschen keine asthmatischen Zustands-

bilder beobachtet. Ungefährlich sind gelegentliche Spritzer auf die Haut, sofern diese mit Wasser und Seife sofort gut abgewaschen werden. Die gleiche Ungefährlichkeit gilt auch für die Augen, wenn diese nach Kontaminierung mit der Komponente mit Borsäurepufferlösung gründlich gespült werden. Da das Polymerisat ziemlich homogen ist, sind keine Dermatosen zu befürchten. Selbst allergische Reaktionen sind sehr selten angegeben worden. (Alle Angaben von der Firma KBM)

#### 4. Methode

Der Kunststoff muß folgende Bedingungen erfüllen, um als Unterfütterungsmaterial Verwendung zu finden:

- a) genügende mechanische Festigkeit (Stabilität)
- b) Formbeständigkeit
- c) Bewahrung derjenigen mechanischen Eigenschaften, deretwegen der spezifische Kunststoff ausgewählt wurde
- d) Verträglichkeit, ohne Reizerscheinungen des umgebenden Gewebes zu verursachen
- e) keine toxischen Rückstände
- f) ausreichende Röntgenstrahlendurchlässigkeit
- g) leichte Verarbeitung

Ob dieser Kunststoff für die in dieser Arbeit geforderte Aufgabe geeignet ist, mußte erst in einigen Vorversuchen geklärt werden.

##### 4.1. Kunststoffprüfungen

###### 4.1.1. Mechanische Festigkeit

Das ausschlaggebende Kriterium für die mechanische Festigkeit des Unterfütterungsmaterials ist seine Biegefestigkeit. Sie ist der Parameter im Hinblick auf den Gipsverband, für dessen Qualität die Mes-

sung der Biegefestigkeit für die praktische Verwendbarkeit wichtiger ist als die Messung der Eindruckhärte (Brinellhärte) (MOSER 1951).

Da die Biegefestigkeit vom Raumgewicht des Schaumstoffes abhängig ist, muß zuerst das Raumgewicht bestimmt werden. Dazu wurden die Komponenten (A) und (B) im vorgegebenen Mischungsverhältnis (2:1) in ein tariertes Gefäß vom 500 ml Inhalt eingewogen (75 g) und gemischt. Zwanzig Minuten nach Beendigung der Volumenvergrößerung wurde das RG ermittelt: der überstehende Schaumkopf wurde in Höhe des Becherrandes abgeschnitten und der Becherteil gewogen:

Raumgewicht (freigeschäumt)

$$= \frac{\text{Becherprobe(g)} - \text{Bechergewicht(g)}}{0,5 \text{ l}}$$

Während des Schäumvorganges wurden Start und Steigzeit ermittelt. Zur Messung der Biegefestigkeit wurden aus freigeschäumten Proben quaderförmige Stäbe (3cm x 1cm x 20cm) hergestellt und diese bei 100 mm Stützweite mit steigendem Druck belastet.

#### 4.1.2. Formbeständigkeit

Zwei quaderförmige Probekörper, einer frei-, einer formgeschäumt, wurden nach einer Liegezeit von vier Wochen in ihren Ausgangs- und Endmaßen miteinander verglichen. Der freigeschäumte Probekörper wurde offen bei Zimmertemperatur (relative Luftfeuchte  $40 \pm 5\%$ ) gelagert, der formgeschäumte im wasserfeuchten Milieu eines geschlossenen Gefäßes (RF  $95 \pm 5\%$ ). Nach einer Austrocknungszeit von fünf Tagen wurde die Gewichts Differenz des formgeschäumten Testkörpers ermittelt und aus die-

sem Wert die prozentuale Wasseraufnahme errechnet.

#### 4.1.3. Bewahrung der mechanischen Eigenschaften

Die in Abschnitt 4.1.2. genannten zwei Testkörper wurden nach der vierwöchigen Lagerzeit auch noch auf die Bewahrung der mechanischen Festigkeit hin geprüft. Dazu wurden sie im Biegeversuch mit dem Ergebnis aus Versuch 4.1.1. verglichen.

#### 4.1.4. Verträglichkeit

Zur Klärung der Frage nach der Verträglichkeit des Polyurethanschaumstoffes mußte auf die Angaben der Firma KBM zurückgegriffen werden (s. auch 4.1.5.). Gemessen wurde die freiwerdende Polymerisationswärme während des Reaktionsablaufes, d.h. vom Beginn der Startzeit bis zum Ende der Steigzeit.

#### 4.1.5. Toxische Rückstände

Nach Angaben der Firma KBM bleiben im Regelfall keine toxischen Rückstände (Isocyanate) im auspolymerisierten Schaumstoff zurück. Es ist jedoch möglich, daß bei Nichteinhalten des exakten Mischungsverhältnisses geringe Mengen unvernetzten Isocyanates im Schaumstoff enthalten sind. Im Rahmen dieser Arbeit war es nicht möglich festzustellen, in welchen Grenzen sich diese Rückstandsmengen bewegen.

#### 4.1.6. Expansionsdruck

Durch die Volumenzunahme des polymerisierenden Kunststoffes entsteht je nach Größe der Ausgangsmenge in dem auszufüllenden Hohlraum ein Expansionsdruck. Ob dieser Expansionsdruck der Festigkeit des Gipsverbandes schadet, wurde dadurch ermittelt, daß Gipsröhren mit gleichem Lumen, aber unterschiedlichen Wandstärken hergestellt wurden.

TABELLE 1

## CELLONA - GIPSBINDEN 10 cm breit

| LAGEN=BINDENTOUREN | WANDSTARKE(cm) | LUMEN(cm) | LANGHE DER RÖHREN (cm) | MOHLRAUM (ccm) |
|--------------------|----------------|-----------|------------------------|----------------|
| 2                  | 0,2            | 0,42      | 10,0                   | 4,2            |
| 3                  | 0,3            | 0,42      | 9,6                    | 4,03           |
| 5                  | 0,4            | 0,42      | 9,7                    | 4,04           |
| 7                  | 0,5            | 0,42      | 10,6                   | 4,4            |
| 10                 | 0,65           | 0,42      | 10,9                   | 4,6            |
| 15                 | 0,9            | 0,42      | 10,8                   | 4,8            |

## BIPLATRIX 1 cm breit

|    |      |      |     |      |
|----|------|------|-----|------|
| 2  | 0,2  | 0,42 | 4,0 | 1,68 |
| 4  | 0,4  | 0,42 | 4,2 | 1,78 |
| 6  | 0,45 | 0,42 | 3,8 | 2,6  |
| 9  | 0,6  | 0,42 | 4,9 | 1,0  |
| 11 | 0,8  | 0,42 | 4,6 | 1,9  |
| 15 | 0,95 | 0,42 | 4,7 | 1,9  |

Abb. 3 - Tabelle 1: Übersichtsbild der Gipsröhrchen

Die Röhrchen aus Cellona-Binden wurden jeweils mit 4 g Kunststoff, die aus Biplatrix mit jeweils 2 g gefüllt. Die Prüfung der Festigkeit der Röhrchen erfolgte auf möglichst einfache Weise. Mit Hilfe einer Federwaage wurden die Versuchsproben, auf zwei Stützen aufgelegt, in der Mitte bis zu 4 kp belastet.

## 4.1.7. Röntgenstrahlendurchlässigkeit

Die Röntgenstrahlendurchlässigkeit sollte in vivo erprobt werden. Die Methode wird in Kapitel 4 Abschnitt 4 beschrieben.

## 4.1.8. Leichte Verarbeitung

Ob dieses Material leicht zu verarbeiten ist, muß die Erfahrung zeigen, die mit dem Schaumstoff in

den Versuchen am Versuchsmodell (4.3.) und bei Anwendung in vivo (4.4.) gewonnen wird.

#### 4.2. Hautschutzmaterial

"Die Haut des Patienten ist durch den Gips lange Zeit von der üblichen Pflege 'abgeschnitten'. Deshalb ist es günstig, bei empfindlichen Patienten die Haut mit einer guten Hautcreme einzureiben. Die Haut schützt man außerdem noch durch Überziehen eines sehr dehnbaren und schmiegsamen tg-Mullschlauches oder einer Trikotschlauchbinde, besser aber noch durch Einwickeln mit einer guten Papierbinde, die gleichzeitig auch die Weichteilpolster etwas zusammendrückt und so den Gips fester anliegen läßt; außerdem macht sie das Herausmodellieren der Knochenpunkte einfacher. Trikotschlauchbinde und Papier müssen unbedingt glatt und faltenfrei der Haut anliegen". (CELLONA-ALMANACH 1960)

Auf Grund der Angaben des Schaumstoffherstellers können nach Erhärtung des Materials geringste Mengen gewebsschädlicher Isocyanate zurückbleiben (s. Kapitel 3 und 4.1.6.). Daher wurde zu den Versuchen neben den üblichen Hautschutzmaterialien, wie tg-Mullschlauch, Trikotschlauch- und Papierbinde, noch Polyäthylenfolie herangezogen.

Das Material der Polyäthylenfolie (Lupolen<sup>R</sup> 0,03), das Polymerisationsprodukt von Äthylen ( $n \cdot \text{CH}_2=\text{CH}_2$ ) zu festem Polyäthylen  $\dots-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\text{CH}_2-\dots$  ist ein Kohlenwasserstoff, d.h. seine Moleküle bestehen aus Kohlenwasserstoffketten, deren freie Valenzen durch Wasserstoffatome bestzt sind:

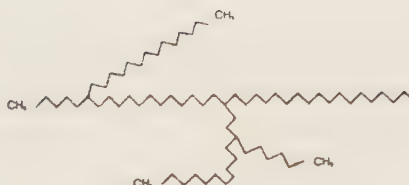


Abb. 4: Schematische Darstellung von Polyäthylen

Polyäthylenfolien sind auf Grund ihrer verzweigten Kettenstruktur und mittleren Kristallinität von niedriger bis mittlerer Dichte ( $0,925\text{g/cm}^3$  bis  $0,940\text{g/cm}^3$ ). Daher zeigen sie günstige Permeabilität für Gase und Flüssigkeiten, hohe Transparenz, kleinen Elastizitätsmodul, geringe Steifigkeit, geringe Härte. Die Gasdurchlässigkeit gemessen in  $\text{cm}^3/\text{cm}^2/\text{sec}^{-1}/\text{mm}^{-1}/\text{cm Hg}^{-1}$  beträgt für  $\text{N}_2=190$ ,  $\text{O}_2=550$ ,  $\text{CO}_2=2500$ ,  $\text{H}_2\text{O}=8,0$ . Die Wasserdampfdurchlässigkeit einer Folie von  $0,025\text{ mm}$  steigt, gemessen in  $\text{g/m}^2/24\text{h}$ , bei zunehmender Temperatur und steigender relativer Luftfeuchte, bis auf  $22\text{g/m}^2/24\text{h}$  (TECHNISCHE INFORMATION, BASF 1969,1971).

#### 4.2.1. Hautschutzmaterialprüfungen

##### 4.2.1.1. Hautschutzmaterial und Schaumstoff

Da sich der Hohlraum zwischen dem der Extremität anliegenden Hautschutzmaterial und dem starren Gipsverband bildet, kommt Schaumstoff in direkten Kontakt mit dem Hautschutzmaterial. Aus diesem Grunde wurden Proben des Polyurethans zum Polymerisieren auf diese in Frage kommenden "Unterlagen" gegeben, um an diesen das Ausbreitungs-, Durchdringungs- und Haftungsverhalten des

Kunststoffes zu prüfen. Diese Versuchsunterlagen sind Mullbinde, Trikotschlauch, Papierbinde und Polyäthylenfolie. Die Versuche an diesen Materialien wurden unter gleichbleibenden Bedingungen jeweils fünfmal durchgeführt. Nach Auftragen von Proben auf die Haut konnte das Verhalten des Schaumstoffes auch auf der Epidermis getestet werden.

#### 4.2.1.2. Verträglichkeit der Folie

Als nächstes mußte geklärt werden, ob die Polyäthylenfolie als bisher unübliches Hautschutzmaterial unter dem Gipsverband Hautveränderungen hervorruft. Dazu wurden die enthaarten Hinterextremitäten von neun Versuchstieren (Kaninchen) eingegipst, und zwar

- |              |                   |        |                   |   |                  |
|--------------|-------------------|--------|-------------------|---|------------------|
| 1. links mit | Mullbinde         | rechts | Mullbinde         | + | Polyäthylenfolie |
| 2. links mit | Mullbinde doppelt | rechts | Mullbinde doppelt | + | Polyäthylenfolie |
| 3. links mit | Trikotschlauch    | rechts | Trikotschlauch    | + | Polyäthylenfolie |

Jeweils drei Tiere bildeten eine Versuchsgruppe

Um eine fortlaufende Kontrolle zu ermöglichen, wurden den ersten drei Versuchstieren nach 14 Tagen beide Gipsverbände entfernt. Der zweiten Versuchstiergruppe wurden die Verbände nach 21 Tagen entfernt. Nach einer Immobilisationszeit von 29 Tagen wurden auch der dritten Gruppe die Verbände abgenommen. Leider konnte keine histologische Untersuchung erfolgen, so daß das Ergebnis aus diesem Versuch nur bedingte Gültigkeit besitzt.

#### 4.3. Versuchsmodell

Um die Anwendungsmöglichkeit des Schaumstoffes zur Ausfüllung eines Hohlraumes zu erproben, wurde ein Versuchsmodell erstellt.

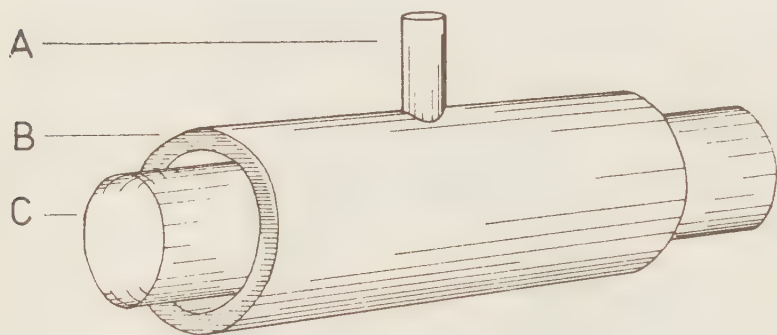


Abb. 5a: Schematische Darstellung des Versuchsmodells

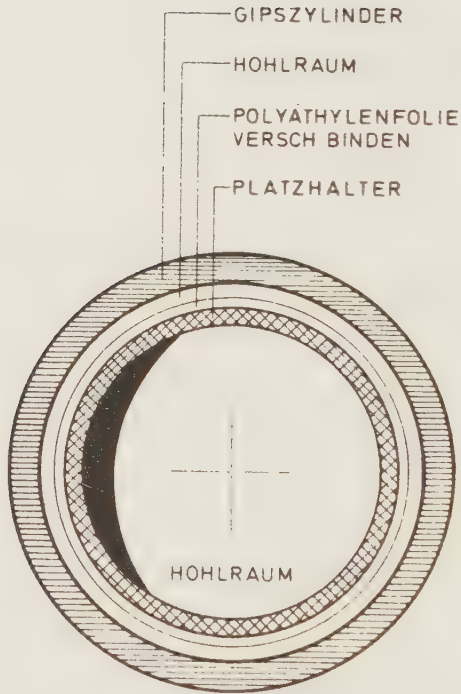


Abb. 5b: Versuchsmodell im Querschnitt

Aus Gipsbinden wurden 10 cm lange Zylinder von 8 cm Durchmesser hergestellt (Abb. 5a: B). Ein Rohr geringeren Durchmessers (7 cm) wurde dann als Platzhalter (Abb. 5a: C) in die Gipsröhre gesteckt. Durch die Differenz der Diameter entstand ein gleichmäßiger Spaltraum von 0,5 cm Stärke.

#### 4.3.1. Versuchsbeschreibung

Mit dieser Versuchsanordnung wurden neun Grundversuche mit jeweils fünfmaliger Wiederholung durchgeführt. Mit einer Ausnahme betrug die für jeden Versuch verwendete Kunststoffmenge 15 g. Die Injektionen erfolgten mit handelsüblichen 20 cm<sup>3</sup> Einmalspritzen.

Versuch 1: In die Gipsröhre wurden im Abstand von 5 cm zwei Injektionslöcher gebohrt. Die Menge Kunststoff wurde in zwei Injektionen eingespritzt. Der Platzhalter wurde mit Polyäthylenfolie gegen den Kunststoff geschützt.

Versuch 2: Es wurde je ein Zugang in der Nähe des Röhrenendes gebohrt, die Bohrpunkte um 180° gegeneinander versetzt. Es erfolgten ebenfalls zwei Injektionen.

Versuch 3: Nach der Bohrung eines Loches am einen Ende der Röhre wurde die gesamte Menge Kunststoff injiziert. Daraufhin wurde ein zweiter Zugang, um 90° versetzt, im Abstand von 6 cm zum ersten gebohrt. Danach nochmalige Injektion der Ausgangsmenge.

Versuch 4: In diesem Versuch wurde über den Platzhalter ein Trikotschlauch gezogen, darüber die Polyäthylenfolie. Die Gipsröhre hatte zwei um 90° versetzte Zugänge, im Abstand von 6 cm. Es erfolgten zwei Injektionen zu 7,5 g.

Versuch 5: Anstelle des Trikotschlauches wurde hier Polsterbinde benutzt. Statt zwei Injektionsöffnungen nur eine in der Mitte der Gipsröhre; einmalige Injektion.

- Versuch 6: In diesem Versuch wurde Mullbinde einfach verwendet. Injektionsöffnung ebenfalls in der Mitte der Röhre; einmalige Injektion.
- Versuch 7: Die Mullbinde wurde in diesem Fall doppelt um den Platzhalter gelegt. Injektionsöffnung wieder in der Mitte; einmalige Injektion.
- Versuch 8: Es wurde ein Polyäthylenschlauch doppelt um den mit Trikotschlauch überzogenen Platzhalter gelegt, sodaß ein röhrenförmiger Sack entstand. Der Kunststoff wurde in den Raum zwischen den Folienblättern eingespritzt.
- Versuch 9: Zur besseren und einfacheren Einfüllung des Schaumstoffes wurde bei diesem Versuch ein selbstgefertigtes "Ventil" (Abb. 5a: A und Abb. 6) zwischen Gipsverband und Folie angebracht. Später fand sich ein industriell gefertigtes "Ventil" gleicher Form und Größe. Zur Einfüllung des Kunststoffes wurde in diesem Versuch auf eine in der Industrie bewährte Spritze zurückgegriffen. Der Durchmesser der Spritze erlaubt es, die eingefüllten Komponenten des Kunststoffes mit einem Handmixgerät homogen zu mischen.

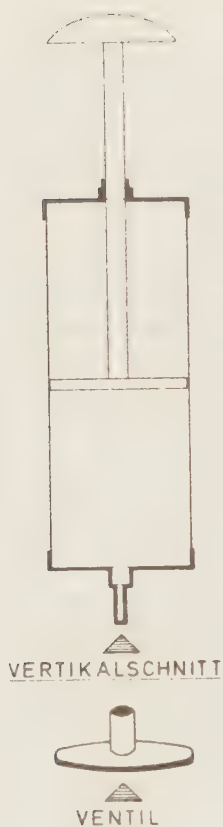


Abb. 6: Schnittbild der Kunststoffspritze  
(siehe auch Abb. 13)  
Skizze des "Ventils"

Im Laufe der Vorversuche zeigte sich, daß der Kunststoff in der verwandten Zusammensetzung für eine sachgemäße Applikation eine zu kurze Startzeit hatte. Daher wurde eine neue Komponentenmischung mit verlängerter Startzeit getestet. Um das Verhalten dieser Mischung beim Ausschäumen des Hohlraums zu prüfen,

wurden die vorgenannten Versuche 1-9 unter gleichbleibenden Versuchsbedingungen jeweils fünfmal wiederholt.

#### 4.4. Methode und Erprobung der Hohlraumausfüllung in vivo

##### 4.4.1. Versuchsbeschreibung

Im Anschluß an die Vorversuche sollte die Hohlraumausfüllung in vivo erprobt werden. Dazu wurde über den rechten Arm der Versuchsperson ein Trikotschlauch gezogen; dann wurde ein Schaumgummkissen um die Extremität gelegt, um einen künstlichen Hohlraum zu schaffen. Es wurde so angebracht, daß es nach Erhärtung des Gipses am proximalen Ende des Verbandes herausgezogen werden konnte. Über das Kissen wurde die Polyäthylenfolie in Form eines Schlauches gezogen, proximal und distal länger als der herzustellende Verband, um die überstehenden Reste nach 3-4 Bidentouren in den Verband einzuschlagen. Mit den ersten Bidentouren wurde das "Ventil" auf der Folie fixiert und so miteingegipst, daß eine Verbindung von der Folie nach außen gewährleistet ist. Das "Ventil" wurde in die Mitte des Unterarmes plaziert; nach Erhärtung des Gipsverbandes wurde das Schaumgummkissen entfernt und der auf diese Weise entstandene Hohlraum mit 25 g Kunststoff ausgefüllt.

Bei der Wiederholung dieses Versuches wurde auf die sofortige Ausfüllung des Hohlraumes verzichtet, um durch eine sechstägige Belassung des Gipsverbandes festzustellen, ob sich durch den Kontakt der Polyäthylenfolie mit der Haut pathologische Veränderungen der Epidermis ergeben. Nach Ablauf dieses Zeitraumes wurde der künstlich geschaffene Hohlraum ebenfalls mit 25 g Kunststoff ausgefüllt.

#### 4.4.2. Röntgenstrahlendurchlässigkeit

Nach Erhärtung des Kunststoffes wurde zur Prüfung der Röntgenstrahlendurchlässigkeit in den beiden vorgenannten Versuchen jeweils eine Röntgenaufnahme mit 48KV/5 mAs angefertigt.

### 5. Experimentelle Ergebnisse

#### 5.1. Ergebnisse der Kunststoffprüfungen

##### 5.1.1. Untersuchungsergebnis der mechanischen Festigkeit (4.1.1.)

Die Ermittlung des Raumgewichtes, RG-freigeschäumt, ergab einen Wert von  $51 \text{ kg/m}^3$ . Der Grund für die Differenz zwischen dem angegebenen Wert ( $50 \text{ kg/m}^3$ ) und dem experimentell gefundenen liegt in der geringen Ausgangsmenge von 75 g. Bei solch geringen Mengen ist ein Fehler von 2% nach Angaben des Herstellers möglich und tolerierbar.

Die während des Ausschäumvorganges ermittelte Startzeit von 0-10 sec und Steigzeit von 10-160 sec. veranschaulicht Abbildung 7.

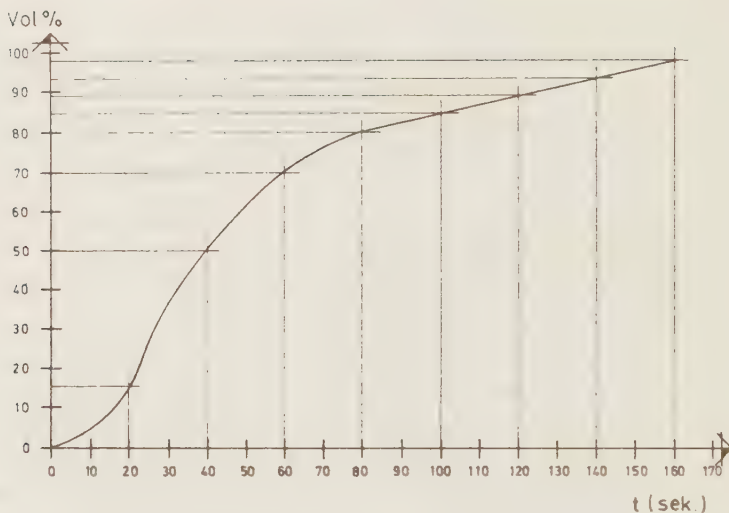


Abb. 7: Darstellung der Start- und Steigzeit des Schaumstoffes

Für die Biegefestigkeit wurde der Wert von  $7 \text{ kp/cm}^2$  ermittelt. Auf Grund der einfachen Versuchsanordnung hat dieser Wert allerdings nur bedingte Aussagekraft.

5.1.2. Ergebnis der Formbeständigkeitsuntersuchung (4.1.2.)

Nach Ablauf der vierwöchigen Lagerungszeit konnte kein Unterschied in den Ausmaßen der Probekörper vor und nach dem Versuchszeitraum festgestellt werden; eine Quellwirkung im feuchten Milieu wurde nicht ermittelt. Die Wasseraufnahme des Testkörpers betrug weniger als 0,5 Vol.%.

5.1.3. Ergebnis der Untersuchung auf Bewahrung der mechanischen Eigenschaft (4.1.3.)

Die vorgenannten Versuchskörper zeigten auch im Ver-

gleich der Biegefestigkeit keinen Unterschied zum Beginn der vierwöchigen Untersuchungsphase.

#### 5.1.4. Ergebnis der Verträglichkeitsuntersuchung (4.1.4.)

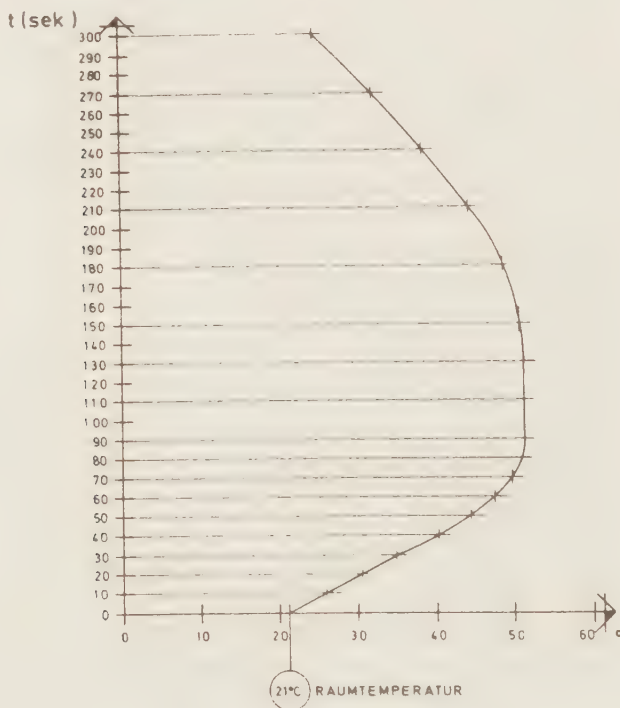


Abb. 8: Temperaturkurve vom Beginn der Startzeit bis zur Erhärtung des Kunststoffes

Die beim Ausschäumvorgang freiwerdende Reaktionswärme erreicht maximal eine Temperatur von  $52^{\circ}\text{C}$ . Dieser Wert (s. Abb. 8) wird schon nach ca. 90 sec. erreicht und bleibt konstant, so lange noch Volumenvergrößerung stattfindet. Nach ca. 150-180 sec. nimmt die Temperatur rasch ab und erreicht nach ca.

fünf Minuten wieder ihren Ausgangswert (hier 21°C Raumtemperatur).

#### 5.1.5. Ergebnis des Expansionsdruckversuches (4.1.6.)

Bei dieser Untersuchung stellte sich heraus, daß der polymerisierende Kunststoff die Gipsbinden, die nur in zwei bzw. drei Lagen gelegt worden waren, durchdrang und das Gefüge des Gipsverbandes so schwächte, daß er schon bei Belastung mit 2 kp brach. In allen anderen Fällen hielten die Röhren einer Belastung von 4 kp stand.

#### 5.2. Ergebnis der Hautschutzprüfungen

##### 5.2.1. Hautschutzmaterial und Schaumstoff (4.2.1.1.)

Aus der Prüfung des Ausbreitungs-, Durchdringungs- und Haftungsverhalten des Kunststoffes auf der Haut und den vier Hautschutzmaterialien, tg-Mullschlauch, Trikotschlauchbinde, Papierbinde sowie Polyäthylenfolie, ergaben sich unterschiedliche Resultate:

- ad 1) Auf der Haut zeigt sich ein sehr starker (äußerst unangenehmer) Klebeeffekt; das Material ist nur sehr schwer abzulösen (mit Trichloräthylen und Bimsstein).
- ad 2) Mullbinde saugt den noch flüssigen Kunststoff auf, behindert seine Ausbreitung und zeigt eine zu starke Haft- und Klebewirkung.
- ad 3) Wegen seiner weitmaschigen Struktur wird der Trikotschlauch vom Schaumstoff durchdrungen. Dadurch tritt der Kunststoff in Kontakt mit der Haut des zu schützenden Körperteils. Die Ausbreitung wird leicht behindert.
- ad 4) Der Kunststoff durchdringt das Papier nicht, fließt aber beim Ausschäumen zwischen die Lagenpalten der Papierbinde und kommt eben-

falls mit der Haut in Kontakt. Das Papier bedingt keine Ausbreitungsbehinderung.

- ad 5) Die Polyäthylenfolie wird nicht von Kunststoff durchdrungen, behindert seine Ausbreitung nicht. Nach der Erhärtung des Schaumstoffes läßt sich die Folie leicht ablösen.

#### 5.2.2. Ergebnis der Verträglichkeit der Folie (4.2.1.2.)

Nach 14-tägiger Belassung der Gipsverbände zeigten sich bei der ersten Versuchstiergruppe weder an den linken noch an den rechten Extremitäten irgendwelche Veränderungen, die auf eine Schädigung des unter den Verbänden liegenden Gewebes schließen lassen konnten. Auch nach dreiwöchiger Tragezeit war bei der zweiten Tiergruppe kein Unterschied zwischen den Extremitäten festzustellen. Nach einer Immobilisationszeit von 29 Tagen zeigte sich an der linken Hinterextremität eines Tieres der dritten Versuchsgruppe eine leicht entzündlich veränderte Druckstelle, die durch den Gipsverband hervorgerufen worden war. Die rechte jedoch wies keinerlei pathologische Veränderungen auf; an allen anderen Tieren zeigten sich keine Hautveränderungen.

#### 5.3. Ergebnis der experimentellen Untersuchung am Modell

##### 5.3.1. Untersuchungsergebnis mit kurzer Startzeit des Schaumstoffes (4.3.1.)

Die in den Untersuchungen am Versuchsmodell gewonnenen Ergebnisse zeigt Abbildung 9 - Tabelle 2.

TABELLE 2

| PLATZHALTER MIT                     | AUSFÜLLUNG D. HOHLRAUMS | SITZ D. PLATZHALTERS | ENTFERNBARKEIT D. PLATZHALTERS |
|-------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|
| V <sub>1</sub> - -                  | 3/4                     | ++                   | -                              |
| V <sub>2</sub> - -                  | 3/4                     | +++                  | -                              |
| V <sub>3</sub> - -                  | 1/4                     | +                    | -                              |
| V <sub>4</sub> Trikotschlauch einf. | 3/4                     | ++                   | ±                              |
| V <sub>5</sub> Polsterbinde         | 1/2-3/4                 | +++                  | ±                              |
| V <sub>6</sub> Mullbinde einfach    | 3/4                     | +++                  | ±                              |
| V <sub>7</sub> Mullbinde doppelt    | 3/4                     | +++                  | +++                            |

Es bedeuten:

- +++ = sehr gut
- ++ = gut
- +
- ± = mäßig
- = sehr schlecht

Abb. 9 - Tabelle 2: Ergebnisse der Untersuchungen am Versuchsmodell

Aus dieser Tabelle läßt sich ersehen, daß der Platzhalter einen umso besseren Sitz hat, je dünner das Hautschutzmaterial ist. Die nachträgliche Auffüllung über ein zweite Öffnung (V<sub>1</sub>-V<sub>4</sub>) konnte die Ausfüllung des Hohlraums nur unwesentlich verbessern. Die Versuche 8 und 9 fehlen in dieser Aufstellung, da sie ein in jeder Hinsicht unbefriedigendes Ergebnis zeigten. Das selbstgefertigte "Ventil" konnte die Erwartungen und Anforderungen nicht erfüllen.

### 5.3.2. Untersuchungsergebnis mit verlängerter Startzeit (4.3.1.)

TABELLE 3

| PLATZHALTER MIT                    | AUSFÜLLUNG D. HOHLRAUMS | SITZ D. PLATZHALTERS | ENTFERNBARKEIT D. PLATZHALTERS |
|------------------------------------|-------------------------|----------------------|--------------------------------|
| V <sub>1</sub>                     |                         | 1/2-3/4              | ++                             |
| V <sub>2</sub>                     | - -                     | 3/4                  | +++                            |
| V <sub>3</sub>                     | - -                     | 1/2                  | ++                             |
| V <sub>4</sub> Trikotschl. einfach |                         | 3/4                  | +++                            |
| V <sub>5</sub> Polsterbinde        |                         | 1/2-3/4              | ++                             |
| V <sub>6</sub> Mullbinde einfach   |                         | 3/4                  | +++                            |
| V <sub>7</sub> Mullbinde doppelt   |                         | 3/4                  | +++                            |
| V <sub>8</sub> Trikotschlauch      |                         | 3/4                  | +++                            |
| V <sub>9</sub> Trikotschlauch      |                         | 3/4                  | +++                            |

Es bedeuten:

- +++ = sehr gut
- ++ = gut
- + = mittel
- ± = mäßig
- = sehr schlecht

Abb. 10 - Tabelle 3: Ergebnisse der Untersuchungen am Modell mit veränderter Startzeit des Kunststoffes

Tabelle 3 zeigt die Ergebnisse aus den Versuchen 1-9 bei verlängerter Startzeit des Kunststoffes. Die Startzeit dieser Kunststoffmischung wurde um 10 sec. auf 20 sec. verlängert. Alle anderen Werte, wie Steigzeit, Polymerisationstemperatur und Biegefestigkeit blieben unverändert.

Durch das Einfügen des in Abschnitt 4.3.1. Versuch 9 erwähnten industriell gefertigten "Ventil" zwischen Gipsverband und Polyäthylenfolie ist eine bessere und schnellere Applikation des Kunststoffes möglich.

#### 5.4. Ergebnis aus dem Eigenversuch

##### 5.4.1. Anwendungsergebnis (4.4.1.)

Als Resultat der Anwendung des modifizierten Gipsverbandes in vivo stellte sich beim ersten Versuch heraus, daß zwar der zuvor lockere Verband nach der Kunststoffapplikation die Extremität gut fixierte, der Hohlraum aber schlecht ausgeschäumt war.

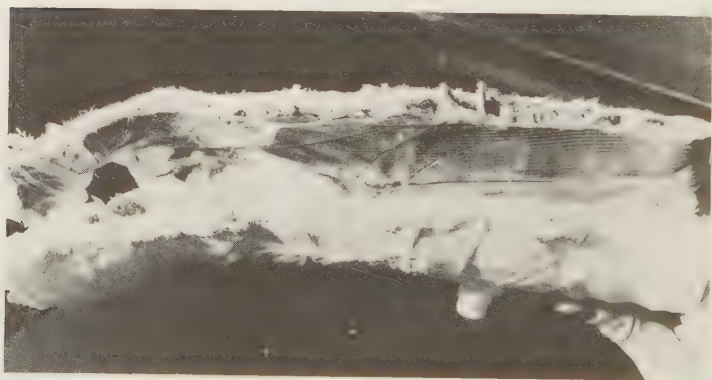


Abb. 11: Aufgeschnittener Gipsverband mit Hohlraumausfüllung aus dem Eigenversuch

Bei der Begutachtung des Verbandes zeigte sich, daß bei der Herstellung des Gipses Folienfalten miteingepist worden waren. Dadurch konnte sich der Kunststoff nicht gleichmäßig verteilen und es blieben Stellen ohne Schaumstoffausfüllung zurück.

Beim zweiten Versuch zeigte sich bei Begutachtung der Haut unter dem Gipsverband keine pathologische Veränderung. Die Ausfüllung des Hohlraums war wie schon im ersten Fall nicht gleichmäßig, da auch in diesem Versuch kein glattes Anliegen der Folie an

der Extremität erreicht werden konnte.

#### 5.4.2. Röntgenstrahlendurchlässigkeit (4.4.2.)

Die nach der Erhärtung des Kunststoffes angefertigten Röntgenaufnahmen zeigten in beiden Fällen, daß trotz der Unterfütterung des Gipsverbandes mit Kunststoff eine ausreichende Strahlendurchlässigkeit gegeben ist, die eine Beurteilung der Frakturstellung zuläßt.

#### 5.4.3. Leichte Verarbeitung (4.1.8.)

Der Umgang mit dem Kunststoff in den Vorversuchen und im Eigenversuch erwies seine leichte Verarbeitungsmöglichkeit. Diese wird durch die Verwendung der industriell bewährten Spritze, in der die Komponenten mit einem Handmixer gemischt werden können, zusätzlich verbessert. Die Auffüllung über das "Ventil", dessen Lumen mit dem Außendurchmesser des Spritzenkonus übereinstimmt, ist ohne Kunststoffverlust möglich. Werden beim Einfüllvorgang Einmalhandschuhe getragen, läßt sich die Kontaminierung der Haut mit dem Kunststoff vermeiden.

#### 5.4.4. Anwendungsweise des modifizierten Gipsverbandes als Ergebnis der Experimente

Basierend auf den Ergebnissen der Experimente und der Erfahrung im Eigenversuch wurde folgender Modus zur Anlegung eines Gipsverbandes mit der Möglichkeit zur Unterfütterung nach Weichteilatrophy entwickelt: Über die mit tg-Mullbinde umwickelte Extremität wird Polyäthylenfolie in Schlauchform gezogen. Der Tatsache, daß die verletzten Körperteile unterschiedlichen Umfang haben, wird durch die Wahl eines Schlauches entsprechender Größe Rechnung getragen. Durch das glatte Anliegen der Folie wird das Eingipsen von Falten verhindert. Der Folienschlauch soll so lang

bemessen sein, daß er den im Anschluß anzulegenden Gipsverband um ca. 8-10 cm am proximalen und distalen Ende überragt (Abb. 12a).

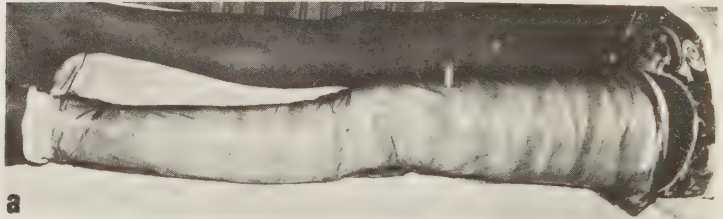


Abb. 12a: Methodik beim Anlegen des modifizierten Gipsverbandes

Nach diesen Vorbereitungen beginnt das Anlegen des Gipsverbandes in üblicher Weise. Während der ersten Bindentouren wird noch das "Ventil" auf die Folie aufgesetzt und miteingegipst (Abb. 12b).

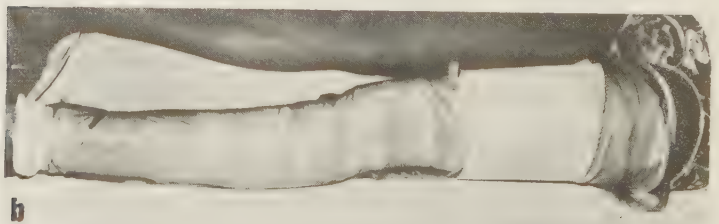


Abb. 12b: Das Eingipsen des "Ventils"

Dieses "Ventil" wird an die Stelle der größten zu erwartenden Atrophie angebracht. Ist mit einer ausgedehnten Atrophie zu rechnen, so können auch zwei "Ventile", um  $90^{\circ}$  versetzt, eingefügt werden. Im weiteren Fortlauf des Anlegens des Verbandes werden dann die überstehenden Ränder der Folie eingeschlagen und ebenfalls miteingegipst. So entsteht nach Fertigstellung des Gipsverbandes ein abgeschlossener Spaltraum, der über das "Ventil" zugänglich ist.

Ist eine Weichteilatrophie der inaktivierten Extremität eingetreten, wird der entstandene Hohlraum mit dem Polyurethanschaumstoff aufgefüllt. Hierbei wird der Kunststoff unter geringem Druck durch das "Ventil" zwischen Gipsverband und Folie eingespritzt (Abb. 13).

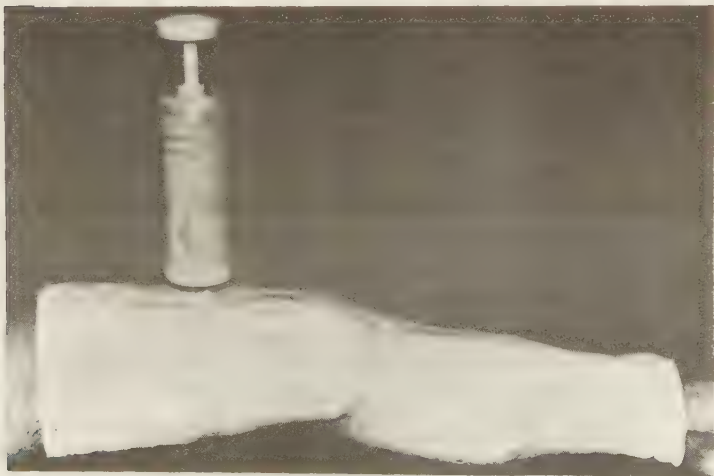


Abb. 13: Die zur Hohlraumausfüllung aufgesetzte Spritze

Nach Beendigung dieses Vorganges wird die Spritze abgenommen, sodaß bei einer leichten Überfüllung des Hohlraums der expandierende Schaumstoff eine Ausweichmöglichkeit durch das "Ventil" hat. Eine anschließende Beobachtungszeit von ca. 45-60 Minuten, in der der Schaumstoff seine endgültige Festigkeit erlangt, beendet den Vorgang des Hohlraumausfüllung.

## 6. Diskussion

### 6.1. Die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit

6.1.1. Die Eigenschaften des Polyurethanschaumstoffes  
Die Versuche haben gezeigt, daß der Schaumstoff trotz seines geringen Raumgewichtes eine relativ große Biegefestigkeit besitzt. Im Vergleich zur Biegefestigkeit von Gipsbinden ( $6-20 \text{ kp/cm}^2$ , je nach Dicke des Materials) liegt der Festigkeitswert zwar niedriger, für die Aufgabenstellung in dieser Arbeit aber ist ein Wert bis zu  $6 \text{ kp/cm}^2$  durchaus ausreichend. Eine Erhöhung des Raumgewichtes und die damit verbundene Erhöhung der Biegefestigkeit ist nicht von Nutzen, da ein größeres RG eine stärkere Verdichtung des Schaumstoffes in einem festgelegten Hohlraum zur Folge hat. Diese Verdichtung bedingt einen höheren Expansionsdruck, der sich in diesem Fall nachteilig auswirken würde.

Ferner zeigten die durchgeführten Untersuchungen, daß sich die Testkörper, offen und im feuchten Milieu gelagert, über den Versuchszeitraum weder in Form noch in Biegefestigkeit verändert hatten. Dieses Ergebnis und die ermittelte geringfügige Wasseraufnahme von weniger als 0,5 Vol.% stimmen mit den Angaben des Herstellers für dieses Produkt

überein.

Die bei der exothermen Reaktion der Komponenten entstehende Wärme ( $52^{\circ}\text{C}$ ) wird subjektiv als noch erträglich empfunden und verursachte keine Veränderungen auf der Haut.

Die bei der Untersuchung des Expansionsdruckes des ausschäumenden Kunststoffes gefundene Feststellung, daß der Kunststoff dünne Stellen des Gipsverbandes durchdringt und dieser dann bei geringer Belastung bricht, steht nicht in direktem Zusammenhang mit der Hohlräumausfüllung. Einmal gewährleistet der Kunststoff auf Grund seiner Biegefestigkeit eine Stützung eines zum Ermüdungsbruch neigenden Gipsverbandes, zum anderen ist mit zwei oder drei Bidentouren das notwendige Maß an gebotener deckender Gipsschicht unterschritten.

#### 6.1.2. Das Hautschutzmaterial

Einer möglichen Gewebsschädigung durch den Kunststoff sollte die Verwendung eines geeigneten Hautschutzmaterials vorbeugen.

Auf Grund der günstigen Ergebnisse aus den Versuchen erweist sich die Polyäthylenfolie als geeignetes Hautschutzmaterial im Hinblick auf die Kunststoffunterfütterung.

Das Resultat der Hautverträglichkeitsuntersuchung steht in Einklang mit den Angaben des Herstellers, da diese Folien einen äußerst geringen Gehalt an niedermolekularen Bestandteilen, einen physiologischen Aufbau und unpolaren Charakter aufweisen. Aus dieser Tatsache erklärt sich die von LOTZ/KUHL (1970) und ROOK/WILKINSON (1968) beschriebene Gewebsverträglichkeit. Auch PROF. BANDMANN und OA

DR. BREIT, Dermat. Abt. des Städt. Krankenhauses Schwabing, München, konnten das Untersuchungsergebnis in Bezug auf die allergologische Indifferenz der Polyäthylenfolie bestätigen. Andere Veränderungen konnten mangels histologischer Untersuchungen nicht mit letzter Sicherheit ausgeschlossen werden.

### 6.1.3. Versuchsmodell

Mit dem Versuchsmodell sollten reale Verhältnisse nachgeahmt und die grundsätzlichen Probleme der Hohlraumausfüllung untersucht werden. Es zeigte sich, daß der Platzhalter umso fester sitzt, je geringer der Polstereffekt des Hautschutzmaterials ist. Andererseits ist eine gewisse Polsterung wünschenswert, damit der Expansionsdruck des polymerisierenden Kunststoffes ein wenig aufgefangen werden kann. Durch die Dicke des Materials und die dadurch bestehende Luftschicht zwischen Folie und Extremität kann auch ein Teil der Polymerisationswärme abgeleitet werden.

Durch das Einfügen eines "Ventils" gelang es, den Kunststoff ohne Verlust in den Hohlraum zu injizieren. Sind zwei "Ventile" angebracht, so ist nur die gleichzeitige, d.h. unmittelbar aufeinander folgende Injektionen von Nutzen. Die Versuche zeigten nämlich, daß eine nachträgliche Einschäumung über das zweite "Ventil" nicht oder nur sehr schlecht möglich war. Daß der Sitz des Platzhalters in diesem Fall gut war, ist durch die genügende Ausfüllung des Hohlraums mit einer Injektion nachzuweisen.

Zum Schutz des Platzhalters gegen den Kunststoff erwies sich die Polyäthylenfolie als besonders günstig. Allerdings behinderten Folienfalten in einigen Ver-

suchen die gleichmäßige Ausbreitung des Schaumstoffes, und es blieben Stellen ohne Ausfüllung zurück. Daher ist ein enges Anliegen der Folie unbedingt notwendig.

#### 6.1.4. Eigenversuch

Obwohl das Ergebnis des Eigenversuches nicht ganz befriedigen konnte (Folienfalten waren miteingegipst worden), so konnte doch die leichte Verarbeitungsweise und die ausreichende Röntgenstrahlendurchlässigkeit bewiesen werden. Auch die gute Verträglichkeit der Polyäthylenfolie konnte in diesem Versuch bestätigt werden.

Aus den Eigenversuchen und den Experimenten wurde ein Verfahren zur Anlegung des modifizierten Gipsverbandes mit der Möglichkeit zur Unterfütterung entwickelt. Die vor dem Auffüllen auftretenden Fragen nach der Größe des Hohlraums und der daraus folgenden Menge des einzufüllenden Schaumstoffes, muß, wie schon erwähnt, einer anderen Arbeit vorbehalten bleiben. Zum einen konnten keine Angaben über die Größe und den Umfang der zu erwartenden Atrophie gefunden werden, zum anderen ist jeder Gipsverband, je nach Form und Ausmaß der Extremität, individuell unterschiedlich.

#### 6.2. Die bisherigen Methoden und Versuche und die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Methode

Der infolge Weichteilatrophy unzureichend fixierende Gipsverband ist ein Nachteil der konservativen Frakturbehandlungsmethode, der von allen Autoren beschrieben wird, die sich mit dieser Behandlungsmaßnahme befassen (SCHWARZ 1958, BÜCKLE DE LA CHAMP 1963, NISSEN-VOSSSCHULTE 1964, COMPERE 1966 u.a.).

Zur Lösung dieses Problems wird allgemein der Wechsel des lockeren Verbandes empfohlen (BÖHLER 1930, MAGNUS 1937, GECKELER 1944 und HOHMANN 1957). Dieser Wechsel muß in manchen Fällen schon nach zwei Wochen vorgenommen werden. Zu diesem Zeitpunkt aber befindet sich die Fraktur noch in der Konsolidierungsphase. Durch das Abnehmen des Verbandes und das Neuanlegen besteht die Gefahr einer Frakturlockerung, der Dislokation, Rotation oder Achsenknickung der Frakturfragmente (SCHWARZ 1958).

Es hat nicht an Versuchen gefehlt, diesem Problem zu entgehen und einen Verbandswechsel überflüssig zu machen. SCHNEK (1937) erwähnt kunstvolle, in Schalen zerlegbare, mit Schnüreinrichtungen versehene Gipsverbände, die an die veränderten Ausmaße der Extremität angepaßt werden können. Damit sollte ein Verbandswechsel überflüssig werden und frühzeitige Mobilisierung ermöglicht werden. Ein anderes Immobilisierungsprinzip beschreibt GRUNERT (1961). Seine thermoplastischen Schienen können nach teilweiser oder gänzlicher Erwärmung individuell angepaßt oder im Bedarfsfall nach Atrophie nachmodelliert werden. EGEN (zit. nach GRUNERT) beschriftet einen ähnlichen Weg mit der Verwendung von Thermoplasten. CHAMPONNIERE (zit. nach SCHNEK), SCHAEFER (1938) und andere schlagen vor, durch frühzeitige Bewegungsübungen den Gipswechsel zu umgehen. Diese Verfahren wie auch andere haben sich als nicht praktikabel erwiesen und keinen Niederschlag in der Praxis gefunden (BÖHLER, J. 1974).

Als Ausweg aus diesen Schwierigkeiten bietet sich das Verfahren der Hohlraumausfüllung an. Hierbei wird der Gipsverband nicht mehr durch einen neuen ersetzt, sondern der durch Atrophie entstandene Hohlraum wird mit

Schaumstoff aufgefüllt und so dem Verband seine ursprüngliche Aufgabe, die Stabilisation und Fixierung der eingerichteten Fraktur, wiedergegeben. Die Versuche und deren Ergebnisse haben gezeigt, daß das Unterfüttern des Gipsverbandes eine Alternative zum bisher üblichen Verbandswechsel sein kann. Die allgemein gültige Anwendungsmöglichkeit und eine Bestätigung des Untersuchungsergebnisses muß allerdings der klinischen Erfahrung vorbehalten bleiben.

## 7. Zusammenfassung

Auf Grund der Tatsache, daß eine durch einen Gipsverband inaktivierte Extremität atrophiert und so eine ausreichende Fixierung durch den Verband nicht mehr gewährleistet ist, ergab sich die Überlegung, den derart entstandenen Hohlraum unter dem Gipsverband mit Kunststoff auszufüllen.

Ein in der Industrie bewährter autopolymerisierender Schaumstoff, Polyurethan, schien für diese Aufgabe der geeignetste zu sein. Das unangenehme Haftungsverhalten auf der Haut machte die Verwendung einer Polyäthylenfolie zum Schutz der Haut notwendig. Die im Tierversuch gewonnenen Ergebnisse der Verwendung von Polyäthylenfolie lassen keine Veränderung an der Haut des Patienten befürchten. Diese Folie ist nur für Wasser und Wasserdampf undurchlässig, durchlässig jedoch für Sauerstoff und Kohlendioxyd, weshalb sie auch als "atmend" bezeichnet wird.

An einem Versuchsmodell wurden die grundsätzlichen Probleme beim Ausfüllen eines abgeschlossenen Hohlraums mit selbstschäumendem Kunststoff geklärt. Durch das Einfügen eines "Ventils" in den Gipsverband wurde eine gleichmäßige Ausfüllung des Hohlraums erzielt, die zum festen Sitz des zuvor lockeren Verbandes führte. Die am Versuchsmodell gewonnenen Ergebnisse wurden in zwei Versuchen in vivo ange-

wendet.

Ein Polyurethanschaumstoff eignet sich sehr gut für die angestrebte Ausfüllung des Hohlraumes und Wiederherstellung der Retention. Die Anwendungsmethode des modifizierten Gipsverbandes wird angegeben. Es wurde auf bisherige Versuche zur Lösung des Problems des durch Weichteilatrophy ungenügend fixierenden Gipsverbandes eingegangen und diese mit der hier angegebenen Problemlösung diskutiert. Nur die klinische Erfahrung und die Ergebnisse, die aus der Anwendung dieser Methode gezogen werden, können die allgemein gültige Verwendbarkeit des hier dargestellten Verfahrens zeigen.

Literaturverzeichnis

- 1) AUBRY, L.:  
Konservative Nachbehandlung  
Berlin, 1949
- 2) BANDMANN, H.J.:  
DOHN,  
Die Epicutantestung  
Bergmann-Verlag  
München, 1967
- 3) BASF:  
Technische Information Kunst-  
stoffe Lupolen  
(8/69, 8/69, 3/71)  
Ludwigshafen, 1969/71
- 4) BASF:  
Technische Informationen  
Elastogran Polyurethan-Syste-  
me (035-6-74)  
Ludwigshafen, 1974
- 5) BETZ, M.:  
Ergebnisse der konservativen  
und operativen Knochenbruchbe-  
handlung  
Med. Diss.  
München, 1969
- 6) BÖHLER, L.:  
Technik der Knochenbruchbe-  
handlung  
Wilhelm Mandrich Verlag  
Wien, 1930
- 7) BRÜCKNER, H.:  
Frakturen und Luxationen  
VEB Verlag Volk und Gesundheit  
Berlin, 1969
- 8) BUCHNER, H.:  
FEISCHL, P.  
Spätergebnisse in der Behand-  
lung von Knochenbrüchen mit  
Polyurethanschaum  
Arch. Orthop. Unfallchir.,  
54:48, 1962

- 9) BÜRKLE DE LA CHAMP, H.: Handbuch der gesamten Unfall-  
heilkunde  
F. Enke Verlag  
Stuttgart, 1963/65
- 10) CALDWELL, John A.: A Manual of the Treatment of  
Fractures  
Springfield/USA, 1941
- 11) CELLONA-ALMANACH: Lohmann KG  
Fahr/Rhein, 1960 + 1970
- 12) CHAMPONNIERE zit. nach SCHNEK, F.: Technik  
des ungepolsterten Gipsverbandes  
2. Auflage  
Wilhelm Mandrich Verlag  
Wien, 1937
- 13) CHARNLEY, J.: Die konservative Therapie der  
Extremitätenfrakturen  
Springer Verlag  
Berlin, 1968
- 14) COMPERE, E.L.: Frakturenbehandlung  
BANKS, S.W. G. Thieme Verlag  
COMPERE, C.L. Stuttgart, 1966
- 15) DEURICKE, P.: Konservative Behandlung der  
MARTYS, F. Unterschenkelbrüche  
Arch. Orth. 38:54, 1937
- 16) DIEBOLD, O.: Klinische Chirurgie für die  
JUNGHANS, H. Praxis Bd. IV  
ZUKSCHWERDT, L. G. Thieme Verlag  
Stuttgart, 1966
- 17) EGEN zit. nach GRUNERT, H.: Ein neu-  
es Ruhigstellungsverfahren un-  
ter Verwendung thermoplastischer  
Kunststoffe  
Arch. Orth. Unfallchir.,  
52:647, 1961

- 18) FRIEDRICH, H.W.: Behandlung des typischen Spei-  
chenbruches  
Chir. Praxis 14:315, 1970
- 19) GECKELER, E.O.: Plaster of Paris Technic  
Baltimore/USA, 1944
- 20) GRUNERT, H.: Ein neues Ruhigstellungsver-  
fahren unter Verwendung ther-  
moplastischer Kunststoffe  
Arch. Orth. Unfallchir.,  
52:647, 1961
- 21) HELLNER, H.: Lehrbuch der Chirurgie  
NISSEN, R. G. Thieme Verlag  
VOSSSCHULTE, K. Stuttgart, 1964
- 22) HOFMEISTER, F.v.: Verbandtechnik  
JÜNGLING, O. Urban und Schwarzenberg  
München, 1948
- 23) HOHMANN, G.: Handbuch der Orthopädie  
HACKENBROCH, M. G. Thieme Verlag  
LINDEMANN, K. Stuttgart, 1957
- 24) LOTZ,: Kunststoffe in der wiederher-  
KUHL, stellenden Chirurgie  
Zeitschr. ärztl. Fortbildung  
64:35, 1970  
Jena
- 25) MAGNUS, G.: Frakturen und Luxationen  
Julius Springer Verlag  
Berlin, 1937
- 26) MATHYSEN, A.: Eine neue Art der Verwendung  
des Gipsverbandes bei Knochen-  
brüchen  
Haarlem, 1852
- 27) MATZEN, P.F.: Lehrbuch der Orthopädie  
(Hrsg.) VEB Verlag Volk und Gesundheit  
Berlin, 1967

- 28) MOSER, C.:  
MOSER, H.  
Berichte, Erkenntnisse, Anregungen  
Festschrift Lohmann KG  
Fahr/Rhein, 1951
- 29) NIGST, H.:  
Spezielle Frakturen und Luxationslehre  
G. Thieme Verlag  
Stuttgart, 1964
- 30) ROOK, A.:  
WILKINSON, D.S.  
Textbook of Dermatology  
Oxford/England, 1968
- 31) ROSTOCK:  
Handbuch der gesamten Unfallheilkunde  
F. Enke Verlag  
Stuttgart, 1956
- 32) SALVATORE, J.E.:  
MANDARINO, M.P.  
Polyurethane polymer. Its use in Osseous Lesions. Its use in Fractured and Diseased Bones  
Am. J. Surg., 97:441, 1959
- 33) SAUR, K.:  
Vergleichende Untersuchungen nach konservativer und operativer Behandlung von Unterschenkelfrakturen  
Med. Diss.  
Saarbrücken, 1970
- 34) SCHAEFFER, V.:  
Herd und Hof als unentbehrliche Begriffe in der Frakturlehre und in ihrer Beziehung zur sog. Inaktivitätsatrophie  
Zbl. Chir., 40:2222, 1938

- 35) SCHNEK, F.: Technik des ungepolsterten Gipsverbandes, 2. Auflage Wilhelm Mandrich Verlag Wien, 1937
- 36) SCHWARZ, E.: Die Knochenbrüche und Verrenkungen und ihre Behandlung VEB Gustav Fischer Verlag Jena, 1958
- 37) STAENDER, M.: Spätergebnisse von konservativ behandelten Unterschenkelbrüchen, Med. Diss. München, 1968
- 38) VALENTIN, B.: Die Geschichte des Gipsverbandes Beilageheft zur Zschr. Orth. Bd. 87 F. Enke Verlag Stuttgart, 1956
- 39) WANKE, R.: Knochenbrüche und Verrenkungen MAATZ, R. Urban und Schwarzenberg JUNGE, H. München, 1962 LENTZ, W.
- 40) WEIKART, P.: Werkstoffkunde für Zahnärzte Hanser Verlag München, 1966
- 41) WELLER, S.: Gedanken zur konservativen und operativen Frakturbehandlung M. Schr. Unfallheilkunde 70:233, 1967

42) ZETKIN, M.:

KÜRTZ, E.-H.

Chirurgie des Traumas

VEB Volk und Gesundheit

Berlin, 1955

Herrn PROF. DR. J. BÖHLER, Wien, danke ich für seine  
schriftlichen Auskünfte.

Herrn Prof. Dr. G. Heberer danke ich für die freundliche Überlassung des Themas. Für die herzliche Arbeitsatmosphäre sowie für die aufmunternde Unterstützung bei der Anfertigung der Arbeit bedanke ich mich bei Herrn Priv.-Doz. Dr. K. Wilhelm. Herrn Prof. Dr. Frick bin ich für die großzügige Arbeitsmöglichkeit an seinem Institut zu Dank verpflichtet. Mein besonderer Dank gilt Herrn Dr. Runzheimer für manch wichtigen Ratschlag.

Den Herren Gorbach und Herzfeldt danke ich für die sorgfältige Ausführung der Zeichnungen.

Der Firma Kunststoffbüro München, Geiselbullach, möchte ich herzlich danken für die Überlassung des Versuchsmaterials.



## Lebenslauf

Am 23. August 1948 wurde ich als Sohn der Eheleute Franz Cleve und Maria, geb. Mentges, in Kevelaer geboren. 1955 wurde ich in die Volksschule zu Kevelaer eingeschult, von der ich 1959 zum Städt. Gymnasium Kevelaer überwechselte. 1967 legte ich dort mit Erfolg das Abitur ab. Im gleichen Jahr nahm ich an der Ludwig-Maximilians-Universität München das Mathematik/Physikstudium auf, von dem ich im Sommersemester 1968 zur Zahnmedizin wechselte. Im Sommer 1973 bestand ich mit Erfolg das Staatsexamen und arbeitete bis zum November 1973 als Assistent in einer freien Praxis. Seit November 1973 leiste ich meinen Grundwehrdienst bei der Bundeswehr ab.





